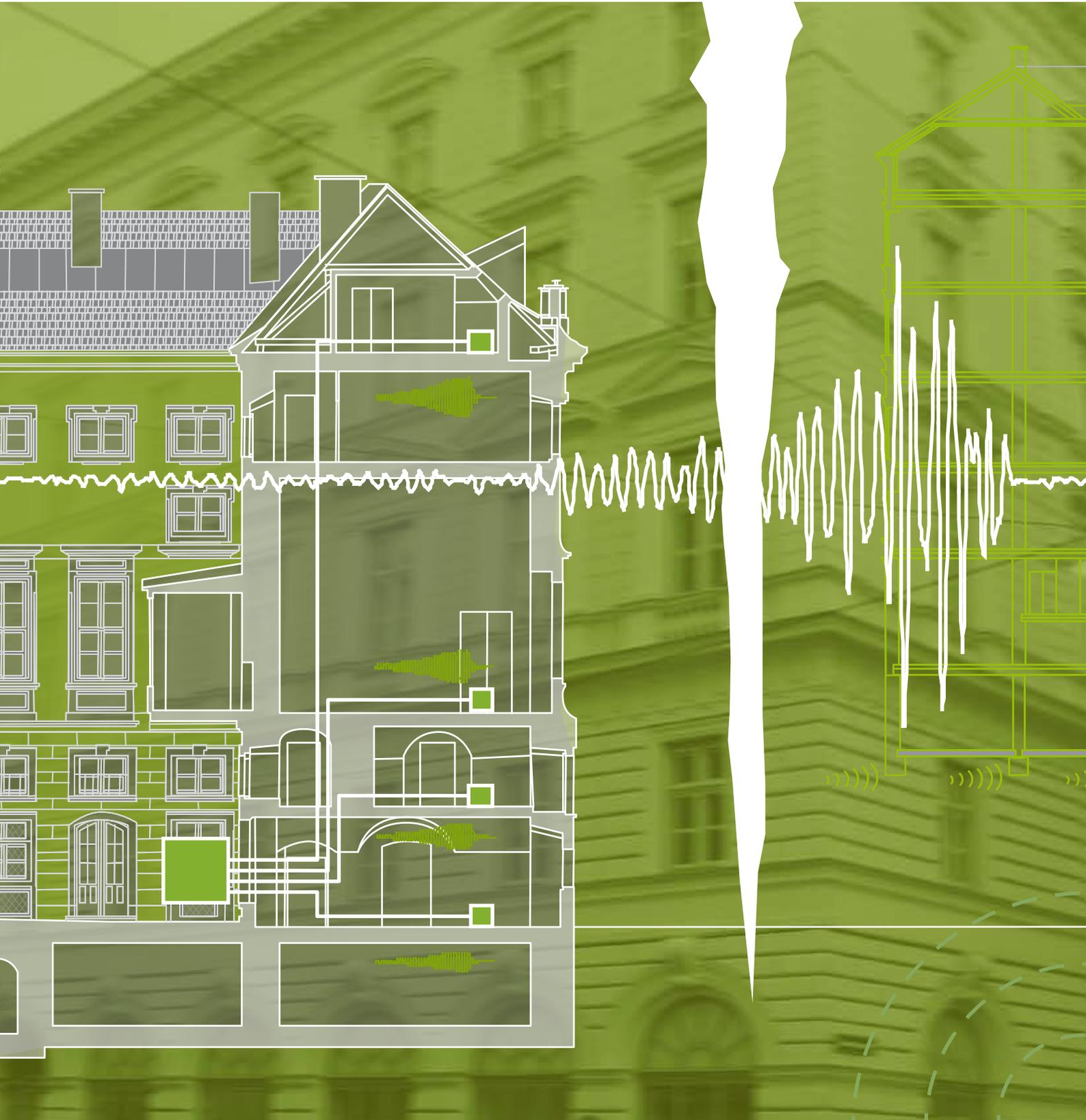


# SEISMID<sup>®</sup>

## Seismische Systemidentifikation



## Eckdaten zum Projekt

Im Forschungsprojekt SEISMID® wurden im Zeitraum Januar 2007 bis Dezember 2010 umfangreiche Forschungsleistungen erbracht. Im Folgenden einige durchaus interessante Eckdaten zum Projekt:

- » 3.317.146,- € Projektbudget
- » 10 Subprojekte
- » 51 Projektmitarbeiter (wissenschaftliches und technisches Personal)
- » 85.216 Forschungsstunden
- » 59 technische Forschungsberichte mit in Summe 1.972 Seiten
- » 31 Präsentationen auf einschlägigen, internationalen Fachkonferenzen
- » 17 wissenschaftliche Publikationen
- » 3 Fachvorlesungen an Fachhochschulen
- » 3 Doktorarbeiten
- » 2 öffentliche Großversuche

Vor diesem Hintergrund erscheint es unmöglich, sämtliche Arbeiten und Forschungsergebnisse in diesem Dokument zu präsentieren. Um einen Eindruck über die Forschungsarbeiten geben zu können, werden Kurzfassungen über 8 der 10 Arbeitspakete zusammengestellt, denen ein Überblick der Erdbeben im Wiener Becken vorangestellt ist.

- (1) Scherschwellengeschwindigkeit für die Erstellung eines Bodenprofils (Dr. Adrian Bekö)
- (2) Großmaßstäblicher Versuch zur Bestimmung der dynamischen Untergrundeigenschaften und der Interaktion Bauwerk-Untergrund (Dr. habil. Fritz Kopf)
- (3) Numerische und experimentelle Untersuchungen von Mauerwerk in Gründerzeithäusern im Hinblick auf deren Erdbebensicherheit (Univ. Prof. Dr. Christoph Adam)
- (4) Versuchsprogramm zur Ermittlung der grundlegenden Materialparameter von altem Ziegelmauerwerk (Prof. Dr. Alfred Strauss)
- (5) Gründerzeithäuser unter Erdbebeneinwirkung – Systemidentifikation und Gebäudebeurteilung (Dipl.-Ing. Dr. techn. Günther Achs)
- (6) Fernerkundungs- und GIS-Beitrag zur Erfassung lokaler Standortfaktoren bei Erdbeben im Wiener Becken (Prof. Dr. habil. Barbara Theilen-Willige)
- (7) Die Bedeutung der technischen Gebäudebegutachtung für die nachhaltige Bewirtschaftung von Gründerzeithäusern (Univ.-Lektor Bmst. Ing. Walter Brusatti)
- (8) Mikrozonierung durch ambiente Messungen (H/V) (Dipl.-Ing. David Schäfer)

Nachfolgende Organisationen waren am Projekt als Partner, Subunternehmer und Finanzier beteiligt.

### Unternehmenspartner:

- » Aplica Advanced Solutions GmbH
- » Brusatti GmbH
- » VCE Holding GmbH

### Forschungspartner:

- » Universität für Bodenkultur
- » Universität Innsbruck

### Sponsoren aus der Immobilienwirtschaft:

- » **Conwert Immobilien Invest SE**
- » **wohnfonds\_wien**
- » **Ulreich Bauträger GmbH**
- » **IFA AG Linz/Wels**

**Subunternehmer:**

- » AIT Austrian Institute of Technology
- » BAGF Birkenweg
- » Internationale Forschungspartner
- » Stanford University
- » University of Tokyo

**Fördergeber:**

- » ZIT – Die Technologieagentur der Stadt Wien GmbH

Für interessierte Leser werden sämtliche Forschungsergebnisse im ersten Halbjahr 2011 in Form eines Buches publiziert. Informationen zum Projekt sind auch unter [www.seismid.com](http://www.seismid.com) zu finden.

Prof. Dr. Helmut Wenzel (Projektleiter)  
Dipl.-Ing. Peter Furtner (Projektleiter Stellvertreter)

## Abstract

Zu den seismisch aktivsten Regionen Österreichs gehört das Gebiet zwischen dem oberen Mürztal über den Semmering, bis hin zum südlichen Wiener Becken. Größere Erdbeben mit Schadenswirkung sind im Wiener Gebiet sowohl messtechnisch, wie auch historisch dokumentiert. Dennoch wurde dem Thema Erdbeben lange Zeit wenig Beachtung gezollt. Angesichts der Auswirkungen von Erdbeben schien eine möglichst detaillierte Erfassung von Bereichen mit Erdbebenkonzentration und Bereichen, die eine größere Gefährdung durch Erdbebenfolgeschäden aufwiesen erforderlich. So führten intensive wissenschaftliche Arbeiten im Bereich Erdbebenforschung in weiten Teilen Europas, insbesondere auch Österreichs, zur Einordnung weiterer Gebiete. Außerdem hat die Einführung des verpflichtenden Eurocode8 die Risikoeinschätzung für die Gefährdung von Bauwerken in Österreichs Ballungszentren grundlegend verändert.

Die Gefährdung unserer Immobilien durch Erdbeben, davor irrelevant, hat sich zum entscheidenden Planungs- und Kostenfaktor entwickelt.

Zur Behebung dieses massiven Problems für die Immobilienwirtschaft wurde das Forschungsprojekt SEISMID<sup>®</sup> ins Leben gerufen und dank der Förderung durch die Technologieagentur der Stadt Wien (ZIT) durchgeführt und am 31.12.2010 erfolgreich beendet. Das Projekt stellt den ersten großen Schritt zur Beseitigung des Wissens- und Erfahrungsdefizits in diesem Sektor in Österreich dar. Es zielt darauf ab, nachvollziehbare Methoden zu entwickeln, um bestehende Gebäude in Wien in Hinblick auf deren Widerstand gegen Erdbebenkräfte zu untersuchen.

## Erdbeben im Wiener Becken

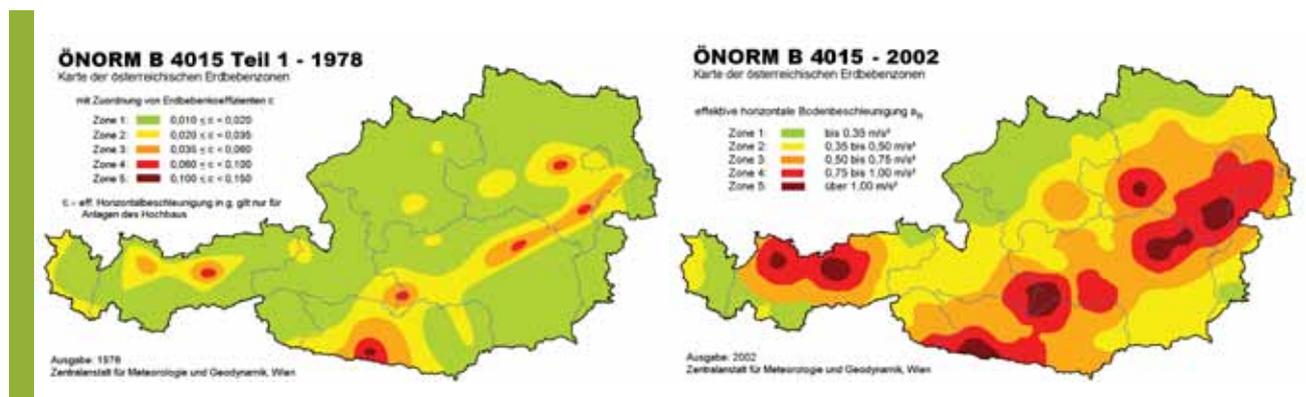
Prof. Dr. Helmut Wenzel

2010 wurde Wien wiederum als weltweit attraktivster Standort in Hinblick auf Lebensqualität gewählt. Neben der günstigen Lage spielt auch die **Verfügbarkeit hochwertiger Immobilien** aus der Gründerzeit eine entscheidende Rolle. Durch die verpflichtende Einführung des **Eurocode 8** (Richtlinien für den Lastfall Erdbeben) im Jahre 2010 wurde eine Erdbebenproblem geschaffen, welches die wertvolle Bausubstanz bedroht. Das Forschungsprojekt SEISMID<sup>®</sup> (Seismische Sytemidentifikation) schuf Wissen und Erfahrung, um den vielerorts drohenden Abrissbescheid auf die wenigen Problemfälle zu reduzieren und eine weitgehende Entwertung dieser Immobilien zu verhindern.

Die Einschätzung der Größenordnung von **Erdbeben im Wiener Becken** hat sich drastisch verändert. Am besten sei dies durch die Darstellung der Bruchlinien (Plattentektonik) Europas und der Gefährdungskarten bevor und nach Einführung des Eurocode dargestellt.



**Abb. 1:** Aktuelle Karte der Erdbebenbruchlinien (SHARE, 2010)



**Abb. 2:** Gefährdungskarten vor und nach Einführung des Eurocodes 8

Das Wiener Becken, ehemals zur Gänze im grünen Bereich, wurde bis 2002 als von Erdbeben unbeeinträchtigt eingeschätzt. Die Änderung der Gefährdung basiert auf der detaillierten Auswertung historischer Aufzeichnungen aus denen das Starkbeben von Neulengbach 1590 (mit einer Magnitude von 6,2 nach Richter) hervorsticht. Damals wurden laut mehrerer Chroniken große Schäden und viele Tote in Wien registriert.



Abb. 3: Erdbeben im Wiener Becken

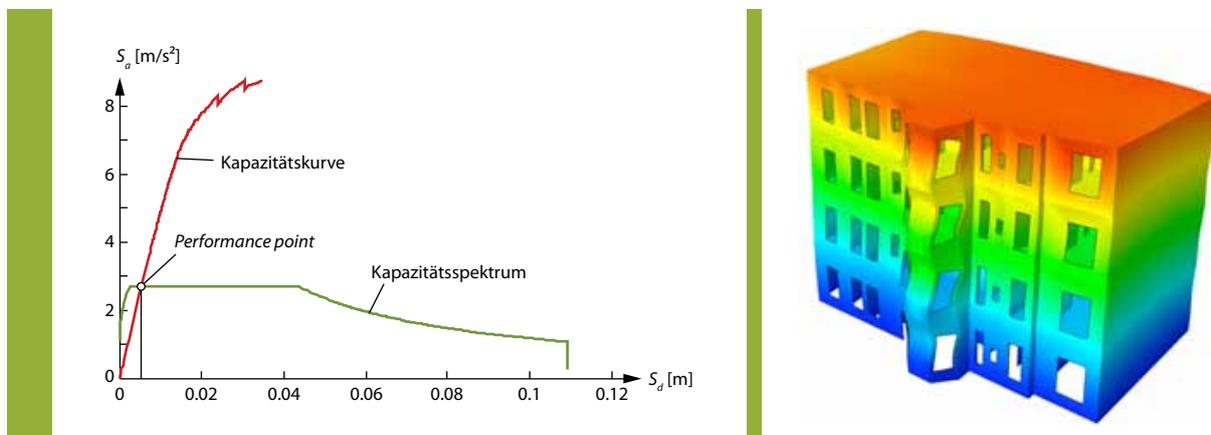
Die Erhöhung der Gefährdung um das Zweieinhalbfache erscheint daher gerechtfertigt. **Erdbeben, auch wenn sie selten auftreten, sind eine reale Gefahr für Wiens Immobilien.** Die Normung nach welcher die Erdbebennachweise an existierenden Gebäuden zu führen sind, wurde zu einem Zeitpunkt erstellt wo Erdbeben nicht zur Diskussion standen. Die angebotenen Nachweismethoden sind nur schlecht geeignet diesen hochdynamischen Prozess zu modellieren und ergeben viel zu ungünstige Ergebnisse. Defacto gelingt der Erdbebennachweis für Bauwerke die vor 1970 errichtet wurden kaum. Die Auswertung von Daten rezenter Erdbeben in der Türkei, Griechenland und Italien haben ergeben, dass richtig geplante und gebaute Gebäude in etwa einen **2 – 2,5-fachen Widerstand** gegen die Erdbebenwirkung leisten. Das Ziel des SEISMID® Projektes war es daher den **Nachweis für die wertvolle Wiener Bausubstanz** zu führen, dass diese versteckten Reserven tatsächlich vorhanden sind. Da Erdbeben bislang kein maßgebender Lastfall waren, hat sich keine Tradition in der Forschung und Entwicklung gebildet und das erforderliche Wissen konnte nur unzureichend geschaffen werden. Es war daher notwendig, bereits fundamentale Kennwerte wie Ziegel- und Mörtelfestigkeit des Wiener Mauerwerks experimentell zu ermitteln. Weiters war nachzuweisen, dass die üblichen Modelle für den statischen Nachweis viele aussteifende Elemente wie Zwischenwände nicht erfassen und daher den Widerstand deutlich unterschätzen. Um dies zu dokumentieren wurden zahlreiche Großversuche an Gründerzeithäusern durchgeführt, bei denen im Zuge eines schrittweisen Abbruchs die wahren Steifigkeitsverhältnisse experimentell bestimmt wurden.



Abb. 4: Testobjekt Spittelbreitengasse.

Durch die großzügige Unterstützung der Immobilienwirtschaft war es möglich, dies an mehreren Abbruchhäusern zu demonstrieren. Ein weiterer wichtiger Aspekt des Projektes befasste sich mit der sogenannten Mikrozonierung, bei der die lokalen Bodeneinflüsse auf das dynamische Verhalten der Bauwerke standortspezifisch bestimmt wurden. Damit werden Unsicherheiten ausgeschaltet und unnötig hohe Sicherheitsbeiwerte relativiert.

SEISMID® erbrachte den Nachweis, dass nicht nur die Belastung aus Erbeben auf der Einwirkungsseite auf das Zweieinhalbfache zu erhöhen ist, sondern dass auch auf der Widerstandsseite aus Boden, Baugrund und mittragenden Elementen eine Erhöhung um das Zweieinhalbfache gerechtfertigt ist. Damit reduziert sich das Erdbebenproblem auf jene Bauwerke, welche durch falsche Baumaßnahmen (z. B. Schaffung weicher Stockwerke durch großflächiges Ausräumen von Erdgeschossen als Geschäftslokale) oder durch vernachlässigte Wartung (Nichtbeseitigung von Wasserschäden und unsachgemäßer Umbauten) empfindlich geschwächt wurden.



**Abb. 5:** Pushover-Kurve (globale Kraft-Verschiebungskurve) und das gegenübergestellte Kapazitäts-Antwortspektrum (links), Grundswingungsform eines Gebäudes (rechts)

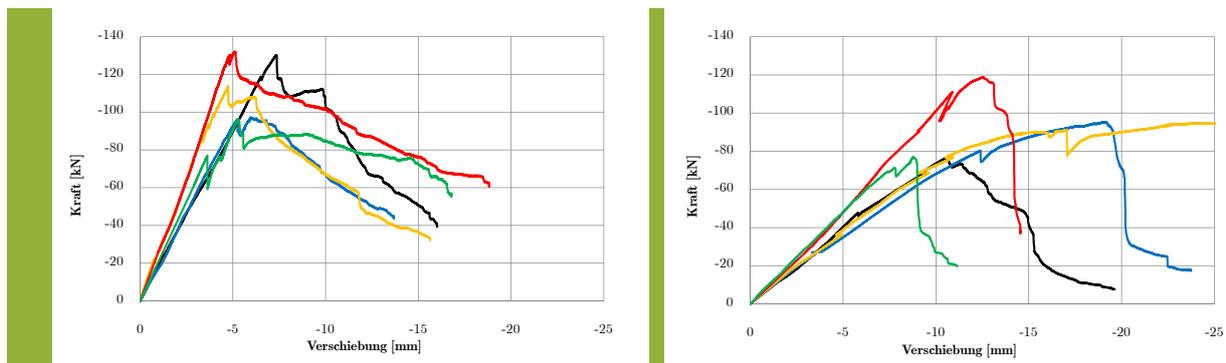
Nach dem SEISMID® Projekt kann man nachweislich behaupten, dass die wertvollen Gründerzeithäuser dem Bemessungserdbeben Stand halten werden, sofern sie in ausreichend gutem Zustand gehalten wurden. Weiters wurde nachgewiesen, dass der Ausbau von Dachböden bei entsprechender Berücksichtigung einfacher technischer Regeln den Widerstand der Gebäude verbessert und nicht wie fälschlich behauptet verschlechtert. Dies gilt nicht nur für die 52.000 Gründerzeithäuser in Wien, sondern kann auch auf die zahlreichen Bauwerke aus Ziegelmauerwerk sowie auch die zahlreichen historischen Bauwerke angewandt werden.

### Wichtige Elemente der Entwicklungsarbeit

Eine systematische Vorgangsweise wurde gewählt, um die wichtigsten Parameter für die Bauwerksbeurteilung zu kalibrieren:

- (1) Erstellung eines einfachen Erhebungsbogens für eine Immobilie, welcher selbst von Leihen im Internet ausgefüllt werden kann. Dadurch können die Eigentümer bestimmen, ob ihr Haus zu einer Risikogruppe gehört oder nicht.
- (2) Schaffung eines geeigneten Ingenieurbefunds für Gründerzeithäuser im Hinblick auf die Erdbebentauglichkeit. Dem statischen Befund wurden dynamikrelevante Elemente beigefügt.
- (3) Bestimmung des tatsächlichen Materialverhaltens von originalen Mauerziegeln und Mörtelmasse in entsprechenden dynamischen Experimenten.
- (4) Großversuche an Mauerwerksverbänden, um das dynamische Verhalten einzelner tragender Element zu testen. Hier konnten die größten Reserven nachgewiesen werden.

- (5) Großversuche an Abrisshäusern zur Bestimmung der tatsächlich vorhandenen Tragwirkung von Gebäuden durch schrittweise Entfernung einzelner Elemente bei gleichzeitiger Messung des Widerstandes. Diese Versuche zeigten den zweiten großen Beitrag zur nachgewiesenen erhöhten Tauglichkeit für den Erdbebenlastfall.
- (6) Bestimmung der Bodenbauwerkinteraktion anhand einer Messkampagne am Falk-Turm im Augarten. Dabei wurde das sehr spezifische Verhalten des Baugrunds im Wiener Becken bestimmt.
- (7) Empfehlungen für die Nachweismethoden (z. B. Push-over Analysis), welche im österreichischen Ingenieurgebrauch noch keinen Eingang gefunden haben.
- (8) Erstellung einer Gefährdungskarte für das Wiener Becken aus der Kombination von der Auswertung von Luftbildern, Radar und ambienten Vibrationsmessungen. Dadurch entfallen im Zweifelsfall ungünstige Annahmen.



**Abb. 6:** Lastverschiebungskurven der Pfeiler-Schubversuche: Proben mit drei Ziegelscharen (links) und mit fünf Ziegelscharen (rechts)

Das im Dezember 2010 abgeschlossene SEISMID<sup>®</sup> Projekt hat auch in der internationalen Erdbebenforschung Eingang gefunden. In den Forschungsprojekten im 7. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission **NERA** (10 Mio. € Fördervolumen), **SERIES** (8,5 Mio. € Fördervolumen), **IRIS** (8,5 Mio. € Fördervolumen) und **SYNER-G** (4 Mio. € Fördervolumen) wird der sogenannte Wiener Erdbebenfall als Referenz für Zentraleuropa nördlich der Alpen modelliert und als herausragende Leistung anerkannt. VCE als Koordinator des SEISMID<sup>®</sup> Projektes ist bei drei dieser Projekte koordinierend tätig. Der ungewöhnliche internationale Erfolg von SEISMID<sup>®</sup> hat sich als Forschungsexportschlager entpuppt. Die Anwendungen reichen von den USA über die Türkei bis nach China und Indien. Einer der wesentlichsten Gründe dafür ist die Tatsache, dass die Immobilienwirtschaft immer direkt eingebunden war und die Forschung dadurch von deren Bedarf getrieben wurde. Trotz des hohen akademischen Niveaus wurden niemals die Ziele der Erhaltung der wertvollen Bausubstanz aus den Augen verloren.

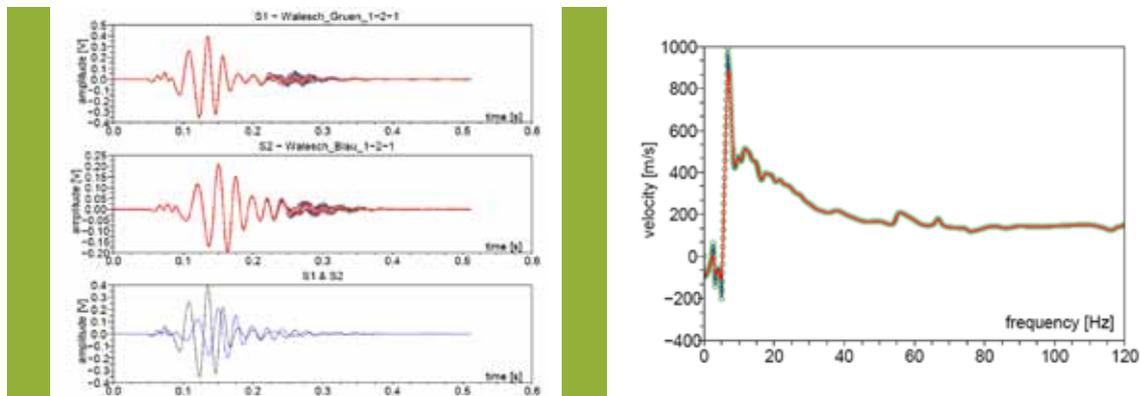
Die Umsetzung der Erkenntnisse in die Praxis hat bereits stattgefunden. Sämtliche Nachweise welche der erarbeiteten Vorgangsweise gefolgt sind, wurden bisher von den Behörden positiv beschieden. Dies hebt den Defacto-Ausbaustopp für Dachböden in Wiener Gründerzeithäusern auf. Nach Schätzungen lag bisher ein Marktpotenzial von mindestens 50 Mio. Euro pro Jahr brach, welches nun gehoben werden kann. Dadurch beweist das SEISMID<sup>®</sup> Projekt eine außergewöhnliche Hebelwirkung von Forschungsinvestitionen (1:300 über nur 10 Jahre). Die investierten öffentlichen Forschungsgelder werden bei Ausschöpfung des Marktes in wenigen Monaten allein schon aus dem Ertrag der zusätzlichen Mehrwertsteuer zurückfließen.

## Scherwellengeschwindigkeit für die Erstellung eines Bodenprofils

Dr. Adrian Bekö

Auf Erdbeben, als außergewöhnliche Entwicklung, reagieren Gebäude auf verschiedenste Art und Weise. Häufig werden bei Gebäuden in unmittelbarer Nachbarschaft beträchtliche Unterschiede im Schadensbild festgestellt. Die Ursache für diese Abweichungen ist im Untergrund mit lokalen geologischen Unterschieden und insbesondere in dessen Verhalten zu suchen. Die aktuellen Normen unterstützen eine grobe Klassifizierung des Untergrundes, um diese Unterschiede in die Erdbebenbemessung miteinzubeziehen. Der maßgebende Klassifizierungsparameter in den Eurocodes ist der  $V_{S,30}$ -Wert, welcher die durchschnittliche Schubwellengeschwindigkeit der obersten 30 Meter Boden wiedergibt. Die Kenntnis der lokalen Größe dieses Wertes ist die Grundlage für die Bemessung und Beurteilung des Erbebenverhaltens und der Erdbebensicherheit von Bauwerken.

Die direkte Messung der Scherwellengeschwindigkeit (Bohrlochmethode) ist ein invasives und kostenintensives Verfahren. Das Ziel der Forschung war, die einfache und kostengünstige Bestimmung und Beurteilung der lokalen Untergrundverhältnisse. Die entwickelte Methode für die Bestimmung des Bodenprofils beruht auf Oberflächenuntersuchungen, mathematischer Modellierung und entsprechender Rückrechnung. Der Zusammenhang wird durch die sogenannte Dispersionskurve beschrieben. Die Dispersion als Phänomen, beschreibt die Frequenzabhängigkeit der Phasengeschwindigkeit der sich ausbreitenden Oberflächenwellen (Rayleigh und Love Wellen). Der Zusammenhang zwischen der Frequenz und der Phasengeschwindigkeit der Rayleigh Wellen kann als Dispersionskurve dargestellt werden.



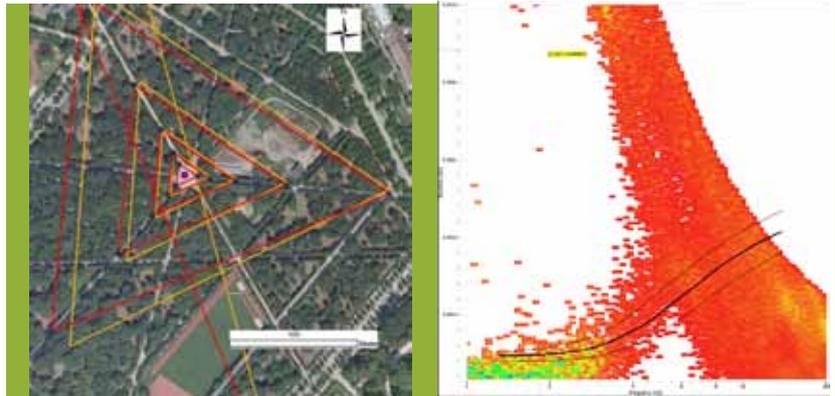
**Abb. 1:** Signale einer aktiven Untersuchung und resultierende Dispersionskurve.

Die messtechnischen Untersuchungen werden mit zwei unterschiedlichen Messaufbauten durchgeführt. Im ersten Schritt der Untersuchung wird der lokale Untergrund unter Verwendung einer dynamischen Lastplatte zur Erzeugung von Oberflächenwellen (aktive Methode) in der Nähe der Messsensoren angeregt. Der Messaufbau besteht aus zwei hochempfindlichen Geophonen, die im Abstand von 10 und 12 Metern zum Anregungspunkt platziert werden. Für die Auswertung der erhaltenen Messsignale und zur Ermittlung der experimentelle Dispersionskurve wird die sogenannte „Harmonic Wavelet Analysis of Waves“ (HWAW) verwendet. Diese Methode beruht auf der Anwendung einer harmonischen Wavelet-Transformation auf die Messsignale und der Suche nach der Zeitdifferenz zwischen phasengleichen Wellen in zwei Messsignalen. Dieser Ansatz ergibt gut aufgelöste Dispersionskurven im Frequenzbereich über 15 Hz.

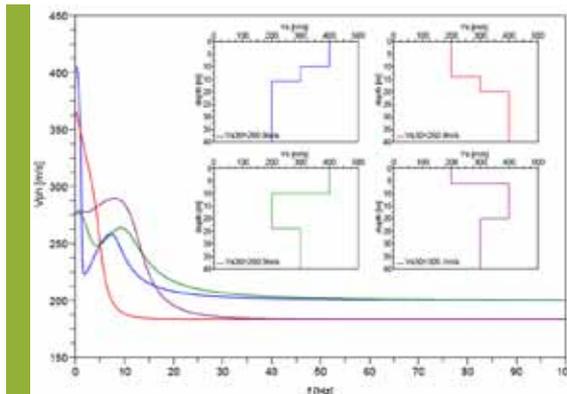
Der zweite Untersuchungsschritt verfolgt einen „passiven“ Ansatz. Dafür werden ambiente Schwingungen durch eine Reihe von Sensoren gemessen. Drei Seismographen werden nacheinander in mehreren konzentrischen Dreiecken angeordnet. Für jede Anordnung werden ambiente Signale für einen Zeitraum

von einer halben bis zu einer Stunde aufgezeichnet. Die Analyse der Daten erfolgt mittels „Frequency-wavenumber beamforming“ (f-k). Jede Sensoranordnung = konzentrisches Dreieck wird einzeln analysiert, wodurch Teile der Dispersionskurve für ein Frequenzintervall in Abhängigkeit der Sensoranordnung erhalten werden. Durch die Verknüpfung der Teilkurven entsteht eine breitbandige Dispersionskurve, die ausreichend niederfrequente Informationen enthält. Das numerische Modell wird als Schichtenmodell im Halbraum konzipiert. Vom mathematischen Standpunkt erfordert das Dispersionsproblem eine „Eigenlösung“. Dafür wird die Transfermatrix-Methode von Haskell angewendet.

**Abb. 2:** Testanordnungen und esultierende Dispersionskurve (Kehrwert der Geschwindigkeit „Slowness“).

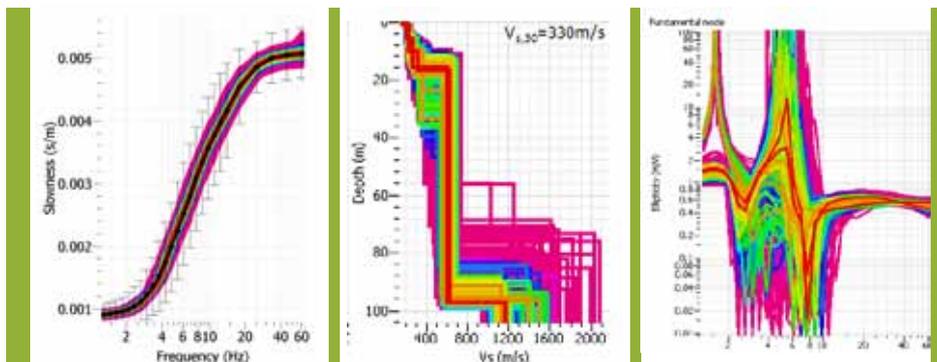


**Abb. 3:** Numerische Modelle und ihre Dispersionskurven.



Um das Scherwellengeschwindigkeitsprofil für den Messpunkt zu erhalten, muss eine inverse Analyse durchgeführt werden. Dabei werden die unbekanntenen Modellparameter des Bodens mittels Iteration und Fehlerminimierung zwischen der Dispersionskurve des Modells und der Soll-Dispersionskurve bestimmt. Schlussendlich wird der maßgebende  $V_{s,30}$ -Wert als gewichteter Mittelwert der obersten 30 m des erhaltenen Bodenprofils berechnet.

**Abb. 4:** Modelldispersionskurven mit Soll, Schubwellengeschwindigkeitsprofilen und Rayleigh Elliptizitäten.



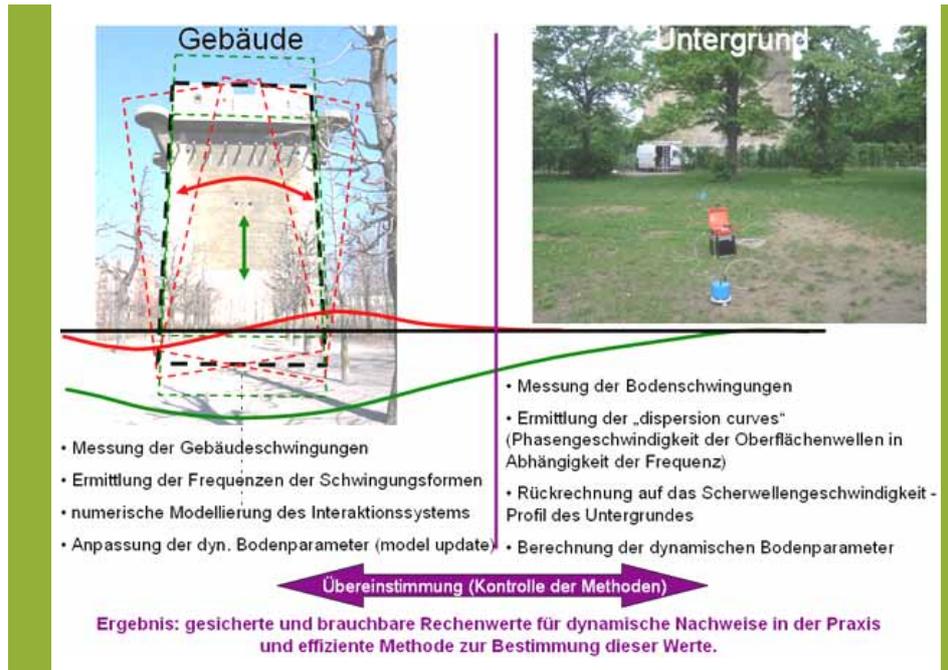
Die beschriebenen Methodik ermöglicht eine zuverlässige Ermittlung des Scherwellengeschwindigkeitsprofils und die Bestimmung des  $V_{s,30}$ -Parameters. Das Verfahren hat sich in der praktischen Anwendung bewährt.

# Großmaßstäblicher Versuch zur Bestimmung der dynamischen Untergrundeigenschaften und der Interaktion Bauwerk-Untergrund

Dr. habil. Fritz Kopf

Der wissenschaftliche Leitgedanke der Experimente im Wiener Augarten bestand darin, sich den dynamischen Untergrundeigenschaften mittels zweier völlig unabhängiger Ansätze zu nähern und auf diese Weise die Verlässlichkeit und Praxisrelevanz der dynamischen Untergrunderkundung mittels Messung der Oberflächenwellen zu beweisen.

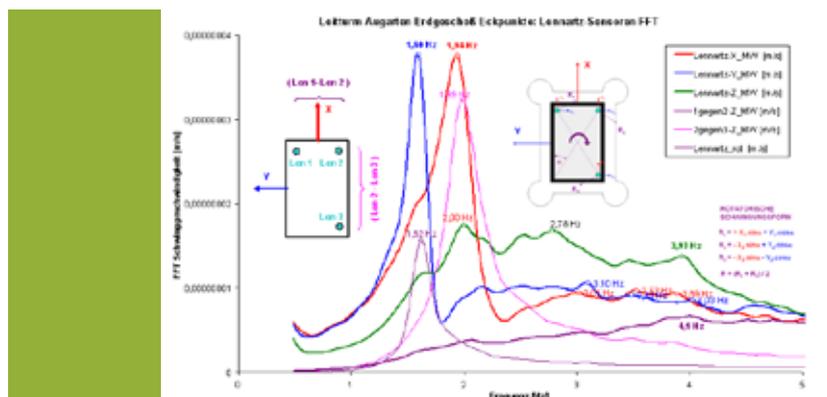
**Abb. 1:** Skizzierung des wissenschaftlichen Leitgedankens hinter den großmaßstäblichen Experimenten im Wiener Augarten.



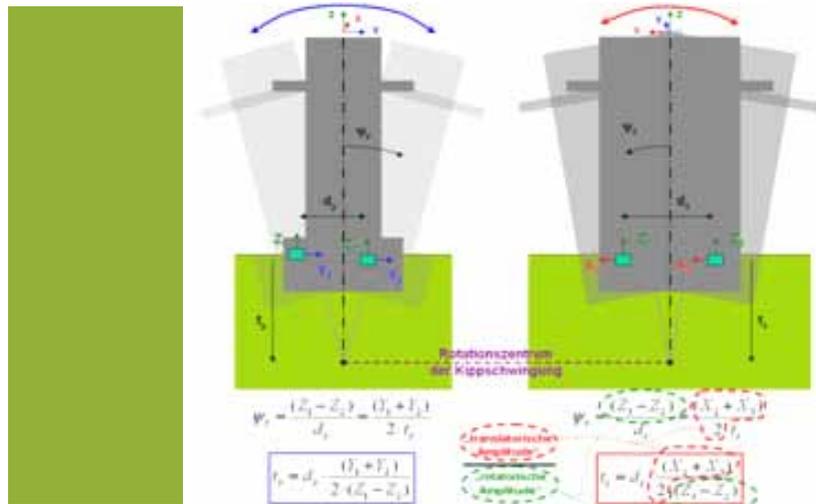
Die Scherwellengeschwindigkeit, der führende Parameter zur Beschreibung der erdbebenrelevanten Bodeneigenschaften, lässt sich relativ „simpl“ mittels aufwendiger und teurer Bohrlochversuche bestimmen. Die Analyse durch Messung von Oberflächenwellen benötigt keine Bohrungen, ist jedoch wesentlich anspruchsvoller in der Auswertung und wurde aus diesem Grund bevorzugt erforscht.

Die dynamischen Untergrundverhältnisse werden einerseits zur Beurteilung der lokalen Verstärkungseffekte von Erdbeben benötigt und andererseits dienen sie der Modellierung des Bodens bei der Analyse des dynamischen Zusammenwirkens von Bauwerk und Untergrund. Deshalb wurde die dynamische Bauwerk-Boden-Interaktion am Leitturm im Wiener Augarten messtechnisch ermittelt, der sich als idealer großmaßstäblicher „Probekörper“ erwies, da er geometrisch schlank, strukturell äußerst steif, massiv und schwingfähig war und somit der Einfluss des Bodens in „Reinkultur“ zu beobachten war.

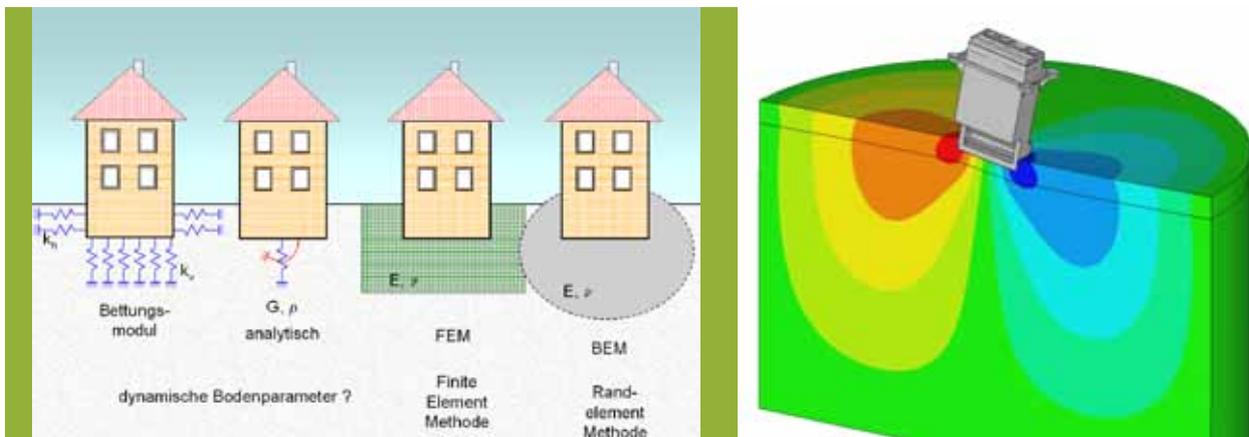
**Abb. 2:** Messung der Gebäudeschwingungen des Leitturmes im Augarten.



**Abb. 3:** Interpretation der Gebäudeschwingungen des Leitturmes im Augarten.



Durch die Rückrechnung der gemessenen dynamischen Eigenschaften des Turmes, die primär auf die dynamischen Untergrundeigenschaften zurückzuführen sind, konnten die Boden-Rechenparameter der unterschiedlichen Berechnungsmethoden (analytisch, Bettungsmodulverfahren, numerische Modellierung mittels Finite Elemente Methode) ermittelt und der Zusammenhang mit den Ergebnissen der Oberflächenwellenmessungen in der unmittelbaren Umgebung hergestellt werden. Dieser ist essenziell für künftige dynamische Nachweise von Gebäuden sowie für die Beurteilung der lokalen Verstärkungseffekte im Erdbebenfall.



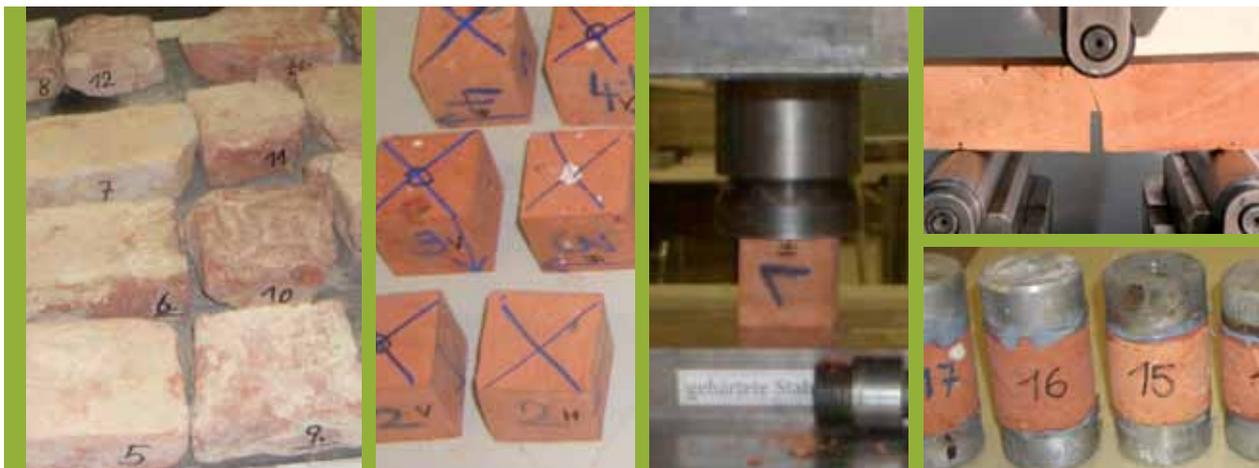
**Abb. 4:** Unterschiedliche Berechnungsansätze für den Einfluss des Untergrundes auf das dynamische Bauwerksverhalten (links), Rückrechnung der dynamischen Untergrundeigenschaften aus den gemessenen Gebäudeschwingungen des Leitturmes im Augarten (rechts).

# Numerische und experimentelle Untersuchungen von Mauerwerk in Gründerzeithäusern im Hinblick auf deren Erdbebbensicherheit

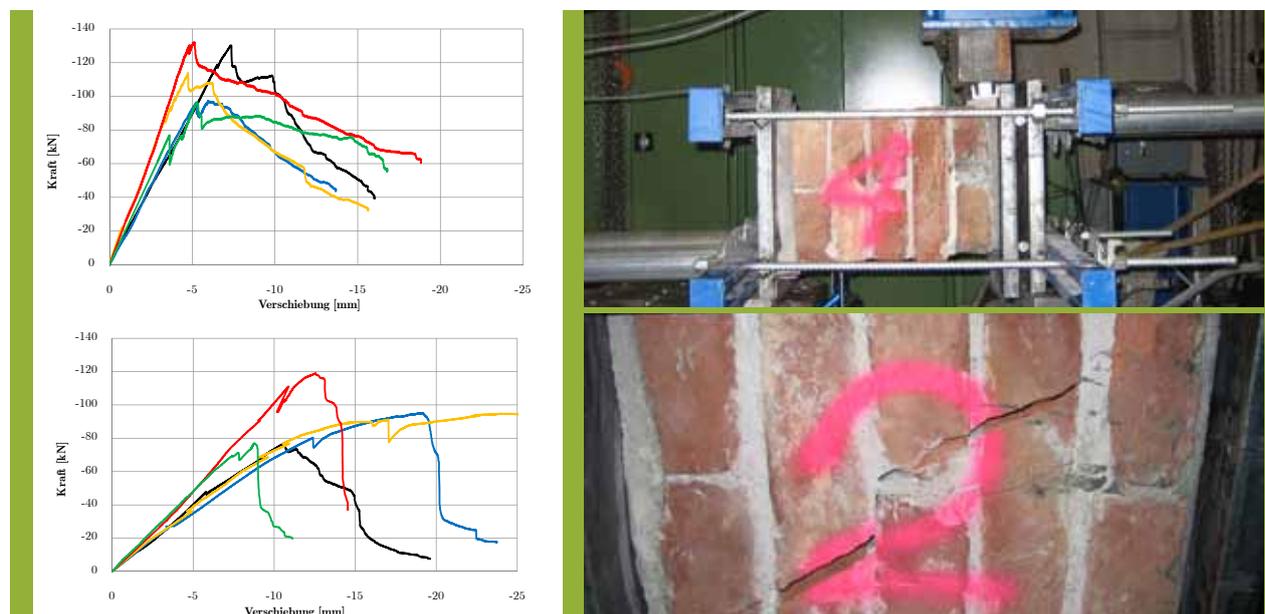
Univ. Prof. Dr. Christoph Adam

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Materialmodell für die numerische Simulation des mechanischen Verhaltens von Mauerwerk in Gründerzeithäusern entwickelt, um eine verbesserte und wirklichkeitsnähere Vorhersage des Verhaltens dieser Bauwerke unter der Einwirkung von starken Erdbeben führen zu können.

Mauerwerk in Gründerzeithäusern besteht im Allgemeinen aus dem Verband verlegten Vollziegeln des „Österreichischen Formats“ und aus Mörtel der die Stoß- und Lagerfugen ausfüllt. Da zu Beginn der Untersuchungen keine Detailkenntnisse zum mechanischen Verhalten dieses Mauerwerks vorlagen, war es essentiell experimentelle Untersuchungen anzustellen. Ziegel konnten aus gründerzeitlichen Abbruchobjekten in Wien gewonnen werden.



**Abb. 1:** Materialproben für die experimentelle Untersuchung (Ziegel)

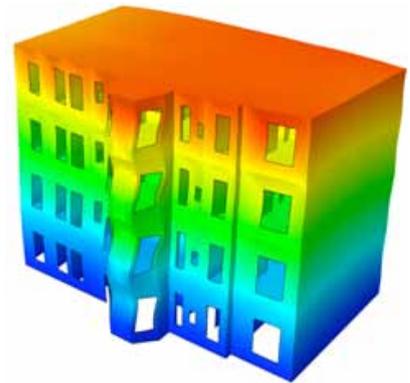


**Abb. 2:** Experimentelle Untersuchungen (Pfeilerförmige Mauerwerksprobekörper: Schubversuche)

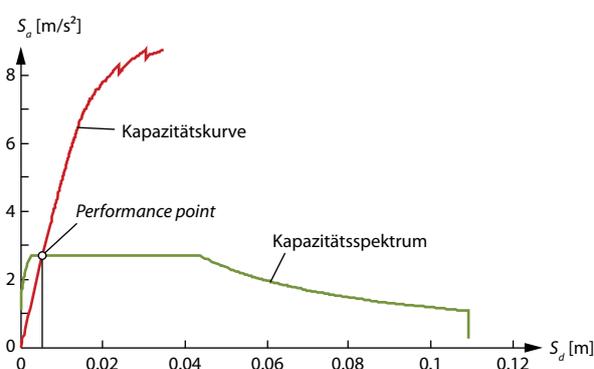
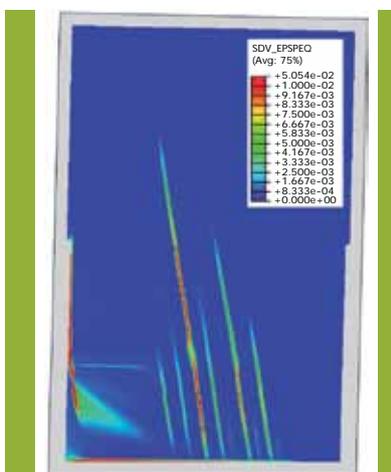
Ausgehend von diesen Untersuchungen, die an Ziegeln, Mörtel und kleinteiligen Mauerwerksprobekörpern durchgeführt wurden, werden geeignete Materialparameter bzw. Materialmodelle für die Einzelkomponenten des Mauerwerks ermittelt. Die Materialparameter sind: Druckfestigkeit, Zugfestigkeit, Elastizitätsmodul, Querdehnzahl, Bruchenergie wie auch die Rohdichte. Zur Anwendung kam hierbei ein Werkstoffmodell für Beton. Da für die Berechnung größerer Strukturen nur eine verschmierte Modellierung von Mauerwerk, also ohne Berücksichtigung der Mörtel- und Ziegelteile, zielführend war, wurde ein solches so genanntes Makromodell im Rahmen der mehrflächigen Plastizitätstheorie implementiert.

Das Modell berücksichtigt verfestigendes bzw. entfestigendes Materialverhalten sowie die wesentlichen Versagensarten von Mauerwerk, wobei es sich auf das Verhalten in der Wandebene beschränkt. Die Materialkennwerte des Makromodells werden durch eine Homogenisierung ermittelt, da deren experimentelle Bestimmung für das betrachtete historische Mauerwerk schwierig bzw. unmöglich ist. Dabei werden zweidimensionale Einheitszellen verwendet, die sowohl Geometrie als auch Materialverhalten von Mauerwerk der Gründerzeit berücksichtigen, wobei die im ersten Schritt bestimmten Parameter des Betonmodells verwendet werden. In einem Anwendungsbeispiel wird exemplarisch die Erdbebensicherheit für das in Abb. 3 gezeigte Gründerzeithaus im 18. Wiener Gemeindebezirk untersucht.

**Abb. 3:** Vorderansicht des betrachteten Gründerzeithauses im 18. Wiener Gemeindebezirk (links). Grundswingungsform diese Gebäudes – Hinteransicht (rechts)



Dabei wird mit Hilfe numerischer Berechnungen unter Verwendung des entwickelten Makromodells die Pushover-Kurve – das ist die repräsentative globale Kraft-Verschiebungsbeziehung – der maßgebenden Gebäudewand ermittelt. Das Rissbild unmittelbar vor dem Versagen ist in Abb. 4 links dargestellt. Durch Vergleich mit dem sogenannten Kapazitätsspektrum, welches die Erdbebenbeanspruchung im Gebäudestandort darstellt, kann der Nachweis der Erdbebensicherheit erbracht werden, vergleiche mit Abb. 4 rechts.



**Abb. 4:** Rissbild der maßgebenden Feuermauer unter horizontaler Belastung (links). Pushover-Kurve (globale Kraft-Verschiebungskurve) dieser Wand und das gegenübergestellte Kapazitäts-Antwortspektrum (rechts)

## Versuchsprogramm zur Ermittlung der grundlegenden Materialparameter von altem Ziegelmauerwerk

Prof. Dr. Alfred Strauss

Im Zuge eines umfassenden Versuchsprogramms wurden neben den grundlegenden Materialparametern (Druckfestigkeit, E-Modul) von altem Ziegelmauerwerk die dynamischen Eigenschaften ermittelt. Im Speziellen erfolgte die Ermittlung des dynamischen Verhaltens mittels Druck-, Schub- und Scherverversuchen. Insbesondere für den Verhaltensfaktor  $q$  können höhere Werte ermittelt werden als der Eurocode 8 für unbewehrtes Mauerwerk vorgibt. Im Eurocode 8 wird ein Bereich von 1,5 bis 2,5 angegeben, wobei der empfohlene Wert bei  $q = 1,5$  liegt. Die experimentelle Notwendigkeit der Bestimmung des Faktors für altes Ziegelmauerwerk zeichnet sich dadurch aus, dass zwar umfangreiche Forschungsprojekte durchgeführt wurden bzw. werden und Daten zur Verfügung stehen, allen gemeinsam ist aber, dass sich diese auf Mauerwerk mit neuen Ziegeln beziehen. Die praktische Relevanz liegt darin, dass eine lineare Berechnung durchgeführt werden kann, wobei der Verhaltensfaktor dem nichtlinearen Materialverhalten Rechnung trägt. Dies ist insbesondere von Bedeutung für den Nachweis im Grenzzustand der Tragfähigkeit für Bauwerke aus der Gründerzeit, da erst durch höhere Verhaltensfaktoren ein Nachweis möglich wird. Es sollte daher ernsthaft über eine Anhebung dieses Faktors nachgedacht werden da es weder technisch noch wirtschaftlich vertretbar erscheint die derzeit vorgegebenen Werte beizubehalten. Unterstrichen wird diese Thematik noch, dass sich Länder mit einer weitaus höheren Erdbebengefährdung als Österreich entschlossen haben in ihren nationalen Anhängen des Eurocode 8 höhere Werte zu übernehmen.

Neben der Reduktion der Bemessungsgröße der Einwirkung durch den Verhaltensfaktor konnte durch Scherversuche eine höhere Schubtragfähigkeit von altem Mauerwerks nachgewiesen werden. Bezogen auf die 5%-Fraktile des Reibungsbeiwertes  $\mu$  kann eine Steigerung um 55% gegenüber der Vorgabe des Eurocode 6 beobachtet werden. Der höhere Reibungskoeffizient aus den Versuchsdaten kann darüber hinaus durch numerische Vergleichsrechnungen mit FEM verifiziert werden (Abweichung zwischen Versuch und Numerik beträgt 7%).

Durch die Reduktion der aufgebrachten Schubkraft  $V_{Ed}$  und Erhöhung der Schubtragfähigkeit  $V_{Rd}$  kann eine deutliche Steigerung der Traglastreserve der maßgebenden Schubwände eines Gebäudes erzielt werden. Für eine bessere Verifizierung der analytischen Betrachtungen und Ausweisung der Traglastreserven sollte in weiterer Folge der gezeigte deterministische Ansatz für das Gründerzeithaus durch ein probabilistisches Modell erweitert werden. Durch die Berücksichtigung der Verteilungsfunktionen und Streuwerte, sowohl auf Einwirkungs- als auch auf Widerstandsseite und der Berücksichtigung etwaiger Modellunsicherheiten können vorhandene Sicherheitsniveaus und Versagenswahrscheinlichkeiten bestimmt werden.



Abb. 1: Schubversuche an Mauerwerksprobekörpern

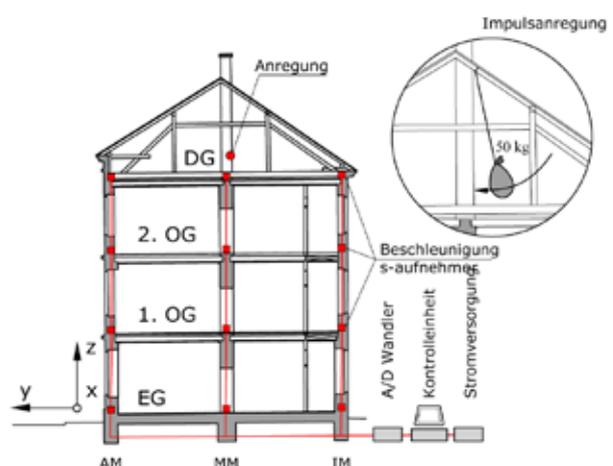
## Gründerzeithäuser unter Erdbebeneinwirkung – Systemidentifikation und Gebäudebeurteilung

Dipl.-Ing. Dr. techn. Günther Achs

Aus den Erdbebenschäden in den vergangenen Jahren wird deutlich, dass vor allem Bestandsbauwerke unter seismischer Beanspruchung hohe Schäden aufweisen. Da Bestandsbauwerke oftmals als Wohngebäude genutzt werden, sind damit auch häufig hohe humanitäre Verluste verbunden. Insbesondere in urbanen Gebieten mit weit zurückreichender Bautätigkeit, wie dies im Stadtgebiet von Wien im Rahmen der Gründerzeit von 1840 bis 1918 der Fall war, besteht ein hoher Anteil der Gebäude aus historischen Mauerwerksbauten. Da viele dieser Gebäude seit Ihrer Errichtung nicht baulich verändert wurden, kann eine Einschätzung des tatsächlichen Gebäudezustands nicht oder nur unter hohem Aufwand ermittelt werden. Zur Abschätzung des Verhaltens der Wiener Gründerzeithäuser unter Erdbebenbelastung liegen, trotz der gegebenen Gefährdung, keine fundierten Methoden vor. Deshalb war eine Notwendigkeit gegeben, deren baulichen Zustand und das Schadenspotential im Falle eines Erdbebens abzuschätzen.

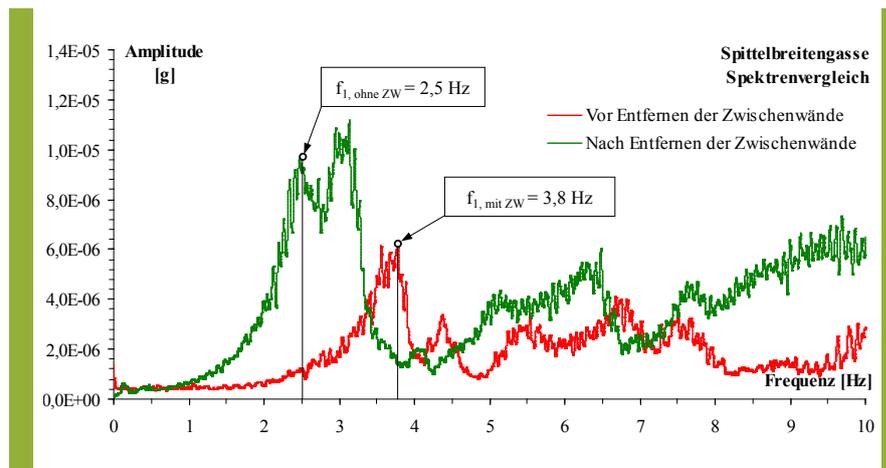
Im Zuge der vorliegenden Forschungsarbeit wurden deshalb experimentelle Untersuchungen an Wiener Gründerzeithäusern unter dynamischer Anregung durchgeführt. Diese liefern Erkenntnisse zum Verhalten dieser Gebäudetypen unter Erdbebeneinwirkung, die aus bisherigen theoretischen Methoden nur unter Berücksichtigung großer Unsicherheiten zu verifizieren waren. Der Vorteil von messtechnischen Untersuchungen besteht darin, dass unterschiedliche Parameter, wie beispielsweise im vorliegenden Fall das Strukturverhalten der Zwischenwände, unter Voraussetzung eines ordnungsgemäßen Messaufbaus in den Messergebnissen bereits enthalten sind.

Idealerweise sollte die messtechnische Ermittlung der Systemparameter auf einen definierten Gebäudezustand bezogen werden. Die daraus ermittelten Änderungen der Systemparameter können damit eindeutig auf die durchgeführte bauliche Maßnahme (Entfernen der Zwischenwände) bezogen werden. Im Rahmen der Untersuchungen im Bereich des Testobjekts Spittelbreitengasse konnte die Wirkung der nichttragenden Zwischenwände am globalen Strukturverhalten des Gebäudes nachgewiesen werden. Dazu wurden im Zuge des Gebäudeabbruchs messtechnische Untersuchungen bei Impulseinwirkung unmittelbar vor und nach dem Entfernen der Zwischenwände durchgeführt, siehe Abb. 1. Durch diese Maßnahme wurde die Massenverteilung der Struktur nur unwesentlich verändert, woraus die ermittelten Reduktionen der Eigenfrequenzen, die in Abb. 2 ersichtlich ist, eindeutig einer wesentlichen Steifigkeitsreduktion zugeschrieben werden konnten.

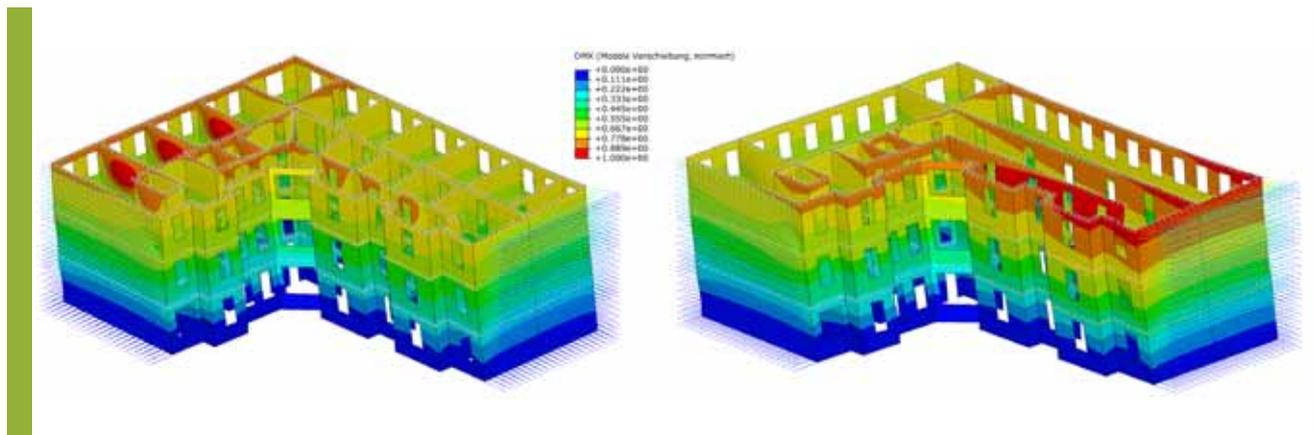


**Abb. 1:** Testobjekt Spittelbreitengasse. Wahl der Testquerschnitte 1 und 2 (links); Verteilung der Beschleunigungsaufnehmer in Testquerschnitt 1 und Position der Impulsanregung (rechts).

**Abb. 2:** Gegenüberstellung der Frequenzspektren vor und nach dem Entfernen der Zwischenwände des Testobjekts Spittelbreitengasse.



Um aus den messtechnisch ermittelten Ergebnissen auf eine Steifigkeitsreduktion schließen zu können, wurde eine numerische Vergleichsrechnung durchgeführt. Dabei wurden die aus der Messung ermittelten dynamischen Größen als Eingangsparameter verwendet und der Zustand mit und ohne Zwischenwände modelliert, siehe Abb. 3. Aus der Gegenüberstellung der beiden Modelle konnte eine Reduktion der globalen Gebäudesteifigkeit von mehr als 50% ermittelt werden.



**Abb. 3:** Numerische Modellierung: Modell mit Zwischenwänden (links), Modell ohne Zwischenwände (rechts).

Aus den durchgeführten Untersuchungen folgt, dass das Verhalten unter Erdbebenbeanspruchung der in Wien dominierenden Gründerzeithäuser maßgeblich durch Elemente beeinflusst wird, die bis zum heutigen Zeitpunkt als nichttragend oder als Sekundärstrukturen betrachtet werden und damit im Erdbebennachweis unberücksichtigt bleiben. Als Sekundärstrukturen in Bezug auf die in diesem Projekt untersuchten Wiener Gründerzeithäuser gelten jene Bauteile, die keine über ihr Eigengewicht hinaus gehenden Lasten abtragen. Dazu zählen beispielsweise Gesimse, Kamine, Brüstungen, einzelne Fassadenelemente oder Skulpturen die aufgrund von Erdbebenlasten eine maßgebliche Gefährdung durch Herabfallen darstellen. Aus den im Rahmen des Forschungsprojekts SEISMID® ermittelten grundlegenden Ergebnissen kann ein neuer Nachweis abgeleitet werden, der die Sicherheit und Tragfähigkeit der Wiener Gründerzeithäuser im Erdbebenfall vollkommen neu einschätzt.

## Fernerkundungs- und GIS-Beitrag zur Erfassung lokaler Standortfaktoren bei Erdbeben im Wiener Becken

Prof. Dr. habil. Barbara Theilen-Willige

Neben der bereits etablierten Standardanwendung der Geo-Informationssysteme (GIS) galt im Rahmen dieser Studie besondere Aufmerksamkeit der GIS integrierten Aufbereitung und Auswertung von Satellitendaten und Geoinformationen. Es wurde systematisch untersucht, inwieweit Auswertungen von Fernerkundungsdaten (QuickBird, LANDSAT ETM, ERS, ASTER und SRTM) und deren Verarbeitung in einem Erdbeben-Geoinformationssystem einen Beitrag zur Erfassung möglicher Erdbebengefahren in diesem Gebiet, ihrer räumlichen Abgrenzung und Darstellung leisten können. Ziel dieser Studie war es, durch die Integration geomorphologischer, geologischer, geodätischer und geophysikalischer Daten im GIS sowie durch Methoden der Fernerkundung zu einer präziseren Abschätzung der Erdbebengefahren unter Einbeziehung von möglichen Erdbebenfolgeschäden (sekundäre Effekte) im Wiener Gebiet beizutragen.



**Abb. 1:** Schema der seismischen Risikoerfassung.

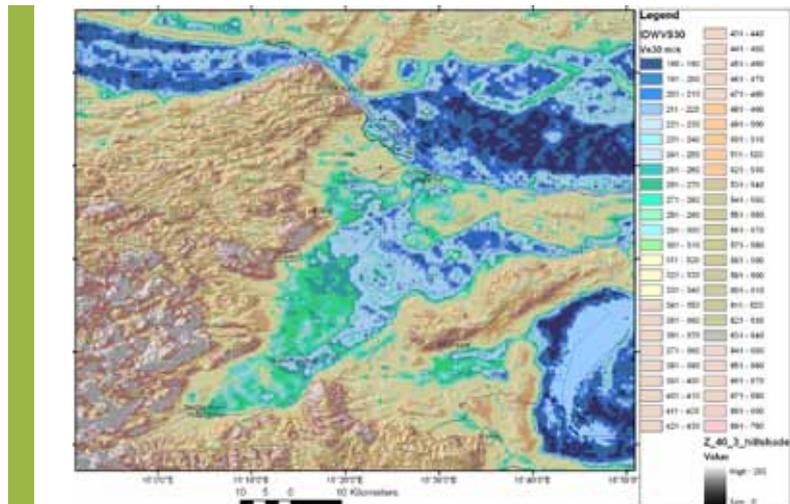
Methoden der Fernerkundung, der digitalen Bildverarbeitung und angewandten Bildinterpretation wurden auf ihre Einsatzmöglichkeiten bei der Erfassung der Erdbebengefährdung, hinsichtlich durch den Untergrund bedingte Effekte, untersucht. Dazu wurden Fernerkundungsdaten in Kombination mit topographischen, geologischen und geo-physikalischen Daten im GIS ausgewertet.

Ziel dieser Arbeiten war es, einen Beitrag zur Identifizierung und Dokumentation schadensgenerierender Faktoren (Risikofaktoren) und die Erfassung der komplexen Wechselbeziehungen zwischen diesen Faktoren zu leisten. Dabei stand die Erfassung von Bereichen erhöhter Schütterwirkung aufgrund ungünstiger, lokaler Standortbedingungen im Vordergrund, in denen Schäden an der Infrastruktur und an Gebäuden bei einem größeren Erdbeben höher sein könnten.

Wesentliche Schwerpunkte bei der Anwendung von Fernerkundung und GIS-Methoden wurden wie folgt gesetzt:

- » Erfassung von Bereichen, in denen es zur Bodenverstärkung – zu Interferenzen und Amplitudenüberlagerung geführter, seismischer Wellen – und damit zur Verstärkung der Erdbebenwirkung kommen könnte
- » Erfassung von Bereichen mit Vorkommen von Massenbewegungen
- » Erfassung von Bereichen, in denen es zur Bodenverflüssigung oder zu Bodensetzungen kommen könnte
- » Vervollständigung und Ergänzung der Informationen über Lage und Charakter aktiver Verwerfungen und neotektonischer Bewegungen

Für das SEISMID®-Projekt wurden LANDSAT-Daten verwendet, die von der University of Maryland, USA, und vom US Geological Survey als Open.Source-Daten zur Verfügung gestellt wurden. Dadurch war es möglich, auf ein umfassendes Archiv von LANDSAT-Daten sowie auch auf aktuelle Aufnahmen bis 2010 zurückzugreifen. Zur digitalen Bildverarbeitung der LANDSAT ETM- und SRTM-Daten sowie der Radardaten (ERS) wurde das Programm ENVI 4.7 der Fa. CREASO/ITT verwendet, für die GIS Applikationen ArcGIS 10. Ziel der Bildverbesserungen war die Hervorhebung von geologischen Strukturen (Bruch- und Störungszonen) im Untergrund, um deren Kartierbarkeit zu verbessern. Weiterhin stand bei der Wahl der Bildverarbeitung die Erfassung von Landnutzungen und von Infrastruktureinrichtungen sowie Veränderungen im Landschaftsbild im Vordergrund.



**Abb. 2:** Mikrozonierung  $V_{s,30}$

Fernerkundungs- und GIS-Methoden ermöglichen nicht nur die Darstellung von einzelnen Einflussfaktoren auf die makroseismische Intensität und Schütterwirkung, sie tragen auch durch die Verknüpfung von verschiedenen Geodaten zu neuen Erkenntnissen bei. Dies gilt vor allem für die Erfassung von Spuren neotektonischer Bewegungen in der Morphologie und von lokalen Standortfaktoren.

Als Ergebnis dieser Untersuchungen, die einen Beitrag zur Erfassung schadensverstärkender Faktoren und lokaler Untergrundbedingungen leisten, kann die Notwendigkeit spezieller weiterführender Untersuchungen belegt werden. Außerdem wird die Notwendigkeit von Vorsorgemaßnahmen für kleinräumige Gebiete deutlich, wie z. B. beim Schienennetz-Monitoring.

Die vorgelegten Ergebnisse ermöglichen einen Einstieg in die Bewertung stärker gefährdeter Regionen. Das prognostische Element der Aussagen kann in ein kurzfristiges Katastrophenmanagement und langfristige Entscheidungen über Bebauung und Nutzung oder Verstärkungsnotwendigkeiten einfließen. Die Umsetzung der Ergebnisse im Sinne konkreter Maßnahmen bleibt Behörden und Entscheidungsträgern vorbehalten.

## Die Bedeutung der technischen Gebäudebegutachtung für die nachhaltige Bewirtschaftung von Gründerzeithäusern

Univ.-Lektor Bmst. Ing. Walter Brusatti

Durch die Einführung des Normenkomplexes für Baumaterialien und Konstruktionsweisen, Eurocode, musste in Österreich ein Umdenken in Bezug auf Erdbebenrisiken bei Altbauten erfolgen. Da aber keine wissenschaftlichen Forschungsergebnisse zu Gründerzeithäusern vorlagen, auf Basis derer technische Regelungen geschaffen werden konnten, wurden die Neubaunormen für Altbauten herangezogen und deren Anwendungsausmaß über ein Merkblatt der Baupolizei geregelt. Die größten Schwierigkeiten bei der Anwendung der Normen bei Um-, Zu- und Ausbauten von bestehenden Gebäuden eröffneten sich in der Frage des Erdbebenwiderstandes. Das Forschungsprojekt SEISMID® war ein großer erster Schritt, das tatsächliche Erdbebenrisiko für den Wiener Raum einzuschätzen und die Konstruktionsweise von Altbauten zu untersuchen. Wichtig war hierbei vor allem die statisch-konstruktive Begutachtung und Kategorisierung von Gebäuden und die kontinuierliche Kommunikation mit den zuständigen Behörden, Interessensvertretungen (Kammer und Innung) sowie Normenausschüssen.

An einem Gebäude in der Zelinkagasse im ersten Wiener Gemeindebezirk wurde erstmals in Österreich ein Erdbeben an einem Wohngebäude simuliert. Ein renommierter Bauträger hatte eine Renovierung des Hauses angestrebt, war dabei jedoch auf Probleme bei der Durchführung gestoßen: Es war eine massive oberste Abschlussdecke geplant, die mit den geltenden Richtlinien des Merkblattes zur Statischen Vorbemessung der MA 37 nicht vereinbar war. Das Gebäude wurde im Detail untersucht, um genauere Aufschlüsse über dessen Konstruktionsweise zu ermitteln und damit einen Lösungsweg zu finden. Der Bauträger ermöglichte es dem Team das Gebäude – über die reine Betrachtung für den geplanten Ausbau hinausgehend – für das Forschungsprojekt SEISMID® umfassend in Hinblick auf mögliche seismische Belastungen hin zu untersuchen und darauf aufbauend eine Berechnungsmethode zu entwickeln. Diese Untersuchungs- und Berechnungsergebnisse wurden im Anschluss mit den zuständigen Stellen des Wiener Magistrats – Stadtbaudirektion, MA 37 (Baupolizei), MA 37/S (Fachgruppe Statik) und MA 29 (Brücken- und Grundbau) – diskutiert, um Aufschluss darüber zu bekommen, welche Berechnungs- und Untersuchungsmethoden von den Behörden akzeptiert und welche Auflagen an umfassende Gebäudebegutachtungen gestellt werden. Durch den seismischen Großversuch in der Zelinkagasse konnten klare Vorgaben seitens der Behörden, eine klare Weiterentwicklung der Berechnungsmethoden und schlussendlich auch ein richtungsweisender Entwicklungsschub in der Forschungsarbeit zu Wiener Gründerzeithäusern geleistet werden.

Ein weiteres richtungsweisendes Untersuchungsobjekt im Rahmen des SEISMID®-Projektes war ein Gebäude in der Spittelbreitengasse im 12. Wiener Gemeindebezirk. Die Untersuchung des Gebäudes brachte äußerst interessante Ergebnisse für die Wiener Bau- und Immobilienbranche: Bei einem Gebäudeteil, bei welchem sämtliche Zwischenwände herausgenommen wurden und daraus resultierenden Öffnungen der Decken nicht verschlossen wurden, bestand trotzdem eine Übertragung der Horizontalkraft. Dies bedeutet, dass auch Holztramdecken eine horizontale Scheibenwirkung innehaben. Beim untersuchten Haus in der Spittelbreitengasse war dies nahezu mit 50% der vorhergehenden Übertragungsweise gegeben.

Diese Scheibenwirkung ist insofern von sehr großem Nutzen, da nachgewiesen werden konnte, dass die Entfernung einzelner Zwischenwände ohne Ersatzmaßnahmen wie Stahlrahmen o.ä. nicht automatisch zu einer massiven Einsturzgefahr führt, sondern dass eine Reststandfähigkeit verbleibt.

Dies ist gerade im Wiener Raum von großer Bedeutung, da in vielen Gründerzeithäusern Geschäfts- und Bankeinbauten im Erdgeschoß mit großzügiger Entfernung von Zwischenwänden durchgeführt wurden, ohne statisch-konstruktive Ersatzmaßnahmen vorzusehen. Bisher war man davon ausgegangen, dass diese Gebäude ihre horizontale Aussteifung verloren haben müssten und daher ein großes Gefahrenpotential bei einem Erdbeben darstellen würden.



**Abb. 1:** Gebäude Spittelbreitengasse

Weiters wurden Zwillingshäuser im 15. Wiener Gemeindebezirk untersucht. Für die SEISMID®-Untersuchungen waren diese Häuser sehr interessant, da das Haus in der Benedikt-Schellinger-Gasse mit einem dreigeschossigen massiven Dachgeschossausbau ausgestattet war und sich das Haus am Reithofferplatz noch nahezu im Originalzustand der Errichtung befand. Hier wurden von der Firma VCE messtechnische Untersuchungen durchgeführt, die ergaben, dass der Vollausbau kaum zu einer Veränderung der Widerstandskapazität geführt hatte. Dies bedeutet in statisch-konstruktiver Hinsicht, dass hauptsächlich der Grundriss der Häuser als maßgeblich zu bezeichnen ist und eine Auflast – selbstverständlich nur bis zu einem gewissen Grad – vom Dach her eher als positiv für ein Haus in seiner Stabilität zu sehen ist. Diese Erkenntnis ist für die Wiener Bauwirtschaft als äußerst wichtig zu bezeichnen. Dreigeschossige Dachausbauten, die vor Inkrafttreten des Merkblattes zur Statischen Vorbemessung der MA37 erbaut worden waren, hatten aufgrund der Angst vor der mangelhaften Standsicherheit einen Wertverlust erlitten.

Die angeführten Beispiele zeigen, dass die detaillierte Untersuchung von Gebäuden zu neuen Erkenntnissen führen kann. Das Projekt SEISMID®, bei dem umfassende messtechnische Untersuchungen durchgeführt wurden, war voller Erfolg.

## Mikrozonierung durch ambiente Messungen (H/V)

Dipl.-Ing. David Schäfer

Messungen unter ambienten Bedingungen haben in den letzten Jahrzehnten immer mehr an Bedeutung gewonnen. Aktuell konzentrieren sich die Forschungsarbeiten nicht mehr nur auf Gebäude oder Brückencharakterisierung, sondern finden auch in der Bestimmung von Bodeneigenschaften und Boden-Bauwerks-Interaktionen Anwendung. Die H/V-Methode (horizontal to vertical spectral ratio) gehört zu dieser Art der Messung. Im Zuge des Projekts SEISMID<sup>®</sup> wurden einige Versuche hinsichtlich der Bestimmung von Bodeneigenschaften mittels der H/V-Methode durchgeführt. Zu Beginn des Projektes wurden drei Böden untersucht, die aufgrund ihrer Eigenschaften eindeutige Ergebnisse zeigen. Es wurde nachgewiesen, dass die Methode prinzipiell funktioniert und auch in urbanem Gebiet, wie in der Stadt Wien, anwendbar ist. Weiters wurden Versuche mit verschiedenen Sensoren durchgeführt. Diese Versuche lieferten ein eindeutiges Ergebnis. Die Verwendung von hochempfindlichen Geophonen (z. B. Lennartz-Sensoren) ist für diese Art der Untergrunduntersuchung unerlässlich.

Außerdem wurde untersucht welche Parameter für eine solche Messung beeinflussbar sind und eine Empfehlung zur Durchführung von H/V-Messungen in urbanem Gebiet formuliert. Diese Empfehlungen sind, in Anlehnung an das SESAME-Projekt, folgende:

- » Messdauer mindestens 20 min
- » Den Sensor direkt auf den Boden setzen (nicht auf Vegetation)
- » Messungen in unmittelbarer Nähe von Gebäuden, Bäumen, etc. bei Wind vermeiden
- » Messungen über Untergrundstrukturen wie U-Bahnen, Leitungen, etc. vermeiden
- » Messungen bei Regen vermeiden
- » Messungen in unmittelbarer Nähe zu Konstruktionsmaschinen, Industriemaschinen, etc. vermeiden (monochromatische Vibrationsquellen)

Bei den Messungen werden Schwingungen unter ambienten Bedingungen aufgezeichnet. Störende Schwingungen, die durch Verkehr oder Ähnliches erzeugt werden, sind weitestgehend zu vermeiden. Messungen während der Nachtzeit sind zu empfehlen. Diese Empfehlungen wurden anhand eines Testgebietes angewandt. Hierzu wurden fünf Punkte sowohl am Tag als auch in der Nacht zwischen 22 und 4 Uhr gemessen. Abb. 1 zeigt eindrucksvoll den Unterschied zwischen Tag und Nachtmessung.

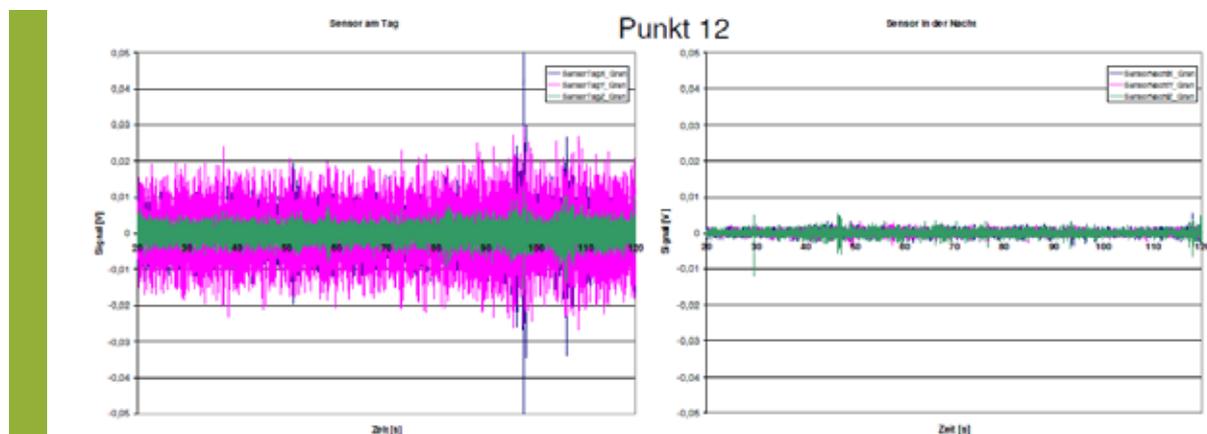
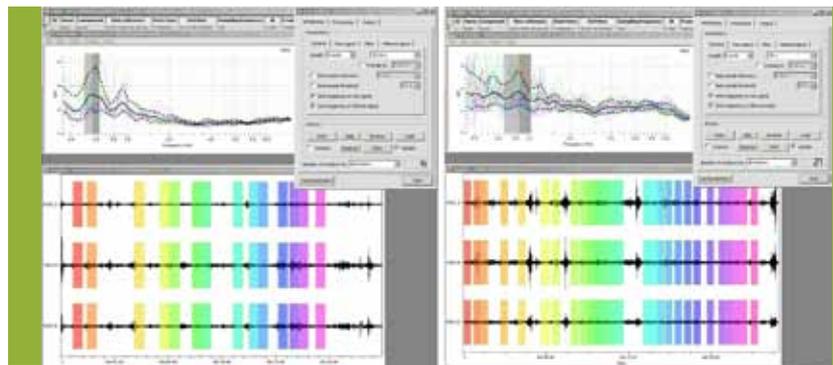


Abb. 1: links: Signal am Tag; rechts: Signal in der Nacht.

Die Ergebnisdarstellung erfolgte im GIS-Format, wobei die einzelnen Messpunkte interpoliert wurden. Zusätzlich zu den Bodeneigenfrequenzen wurden die Amplituden dieser Frequenz angegeben. Diese Amplituden können bei guten Messvoraussetzungen Aufschluss über den Verstärkungsfaktor geben.



**Abb. 2:** Messpunkte – Messrunden



**Abb. 3:** Unterschiede in der Auswertung zwischen Tag (links) und Nachtmessung (rechts)

Im Forschungsprojekt ist der Nachweis erbracht worden, dass die H/V-Messungen in urbanem Gebiet durchführbar sind und brauchbare Rückschlüsse auf die Untergrundeigenschaften liefern können. Die Messungen und vor allem die Auswertungen verlangen ein entsprechendes Know-how auf den Gebieten der Messtechnik und Geologie.